



## ENSAYOS DE VERANO DEL SISTEMA DE ACUMULACIÓN TÉRMICA CON BOTELLAS DE PET <sup>1</sup>

R. Echazú<sup>2</sup>, M. Quiroga<sup>3</sup>, L. Saravia<sup>4</sup>, C. Cadena<sup>5</sup> y P. Robredo

INENCO<sup>6</sup>  
Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta, Argentina  
FAX 54-387-4255489, e-mail : [echazur@inenco.net](mailto:echazur@inenco.net)

**RESUMEN** : Se presentan resultados del ensayo en verano de un sistema de acondicionamiento térmico para un invernadero hidropónico de 100 m<sup>2</sup> ubicado en Salta, Argentina. El invernadero cuenta con 9 piletas de cultivo y sistemas de acondicionamiento térmico solar para la solución hidropónica, para el ambiente y para el control de la radiación solar.

En una publicación anterior, (Saravia L. et. al. 2000) se presentaron resultados del ensayo en invierno de un acumulador y una simulación del mismo. En esta se da cuenta de los ensayos de verano con los 9 acumuladores en funcionamiento.

### INTRODUCCIÓN

Desde 1996 el INENCO estudió en un pequeño prototipo de 40 m<sup>2</sup> el acondicionamiento térmico de un invernadero para cultivo hidropónico. El sistema ensayado comprende subsistemas para el control de la radiación solar y las temperaturas del aire y de la solución hidropónica, la cual es también utilizada como fluido acumulador y de transferencia de calor.

Los resultados obtenidos hasta la fecha, de los aspectos térmicos y agronómicos, (Saravia et. al. 1996, 1997) sirvieron de base para el diseño de un prototipo de mayores dimensiones que se construyó en el 2000, con las siguientes características:

- 1 - Todos los sistemas y controles, se ubicaron en el interior del invernadero, con la única excepción de un pequeño gabinete exterior para el tablero de potencia y sistema de medidas.
- 2 - Las piletas de cultivo, se elevaron para facilitar la atención del cultivo, aprovechando el espacio por debajo de éstas y la estructura para ubicar los acumuladores.
- 3 - Se emplearon únicamente materiales de uso corriente y técnicas constructivas simples, para facilitar la transferencia del sistema a los productores.
- 4 - El diseño de las piletas de cultivo es totalmente modular, integrando totalmente los subsistemas de circulación de solución hidropónica y de acumulación.
- 5 - Se utilizan actuadores independientes y de potencia adecuada para cada módulo.
- 6 - Las piletas de cultivo independientes, para el ensayo simultaneo de diferentes especies y soluciones nutritivas

### PILETAS DE CULTIVO Y ACUMULADORES

Las piletas de cultivo, de 5 m<sup>2</sup> cada una, se construyeron con los laterales de tablas de pino de 25 mm ( 1") tratadas con pintura asfáltica y recubiertas en su interior por dos capas de polietileno de 200 µ. El fondo es de chapadur y se encuentra elevado 0.60 m del piso del invernadero, para facilitar la atención del cultivo, a la vez que se aprovecha el espacio para ubicar el acumulador.

Para la circulación de la solución hidropónica, se conectaron las piletas en tres circuitos independientes de 3 piletas cada uno. De este modo pueden hacerse en forma simultanea, ensayos con distintos cultivos, o el mismo cultivo en diferentes etapas. El circuito hidráulico de cada grupo de tres piletas, se completa con un depósito plástico de 50 litros, cañerías de distribución y de retorno por gravedad. La bomba, acoplada directamente en el fondo del depósito impulsa la solución hacia el banco de colectores o directamente a las piletas, según la configuración de las llaves de control de la cañería.

<sup>1</sup> Parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta y por el FONCYT (SECYT)

<sup>2</sup> Personal del CIUNSa.- <sup>3</sup> Personal del CIUNSa - <sup>4</sup> Investigador del CONICET.

<sup>5</sup> Profesional Principal del CONICET <sup>6</sup> Instituto UNSa - CONICET

Cada acumulador, ubicado debajo de una pileta de cultivo, tiene un largo de 5 m, un ancho de 1 m y una altura de 0,60 m. en este espacio se distribuyeron 550 botellas de 2,25 litros. La masa total de agua del sistema es de 11000 Kg.

El acumulador ya caracterizado en un trabajo anterior Saravia (2000) tiene como parámetros:  
Fracción de huecos: 0.53 ; Factor de forma: 1.41; Diámetro equivalente: 0.14 m

En la figura 1 se muestra el invernadero en planta, indicándose la ubicación de las piletas de cultivo, y los acumuladores y en la figura 2 se puede apreciar la disposición de los elementos del sistema y de las aberturas.

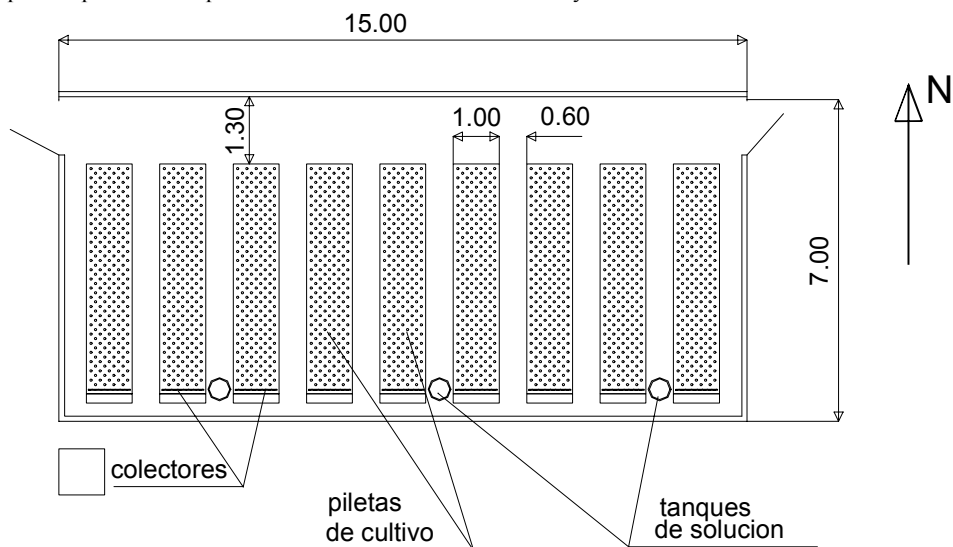


Figura 1: Planta

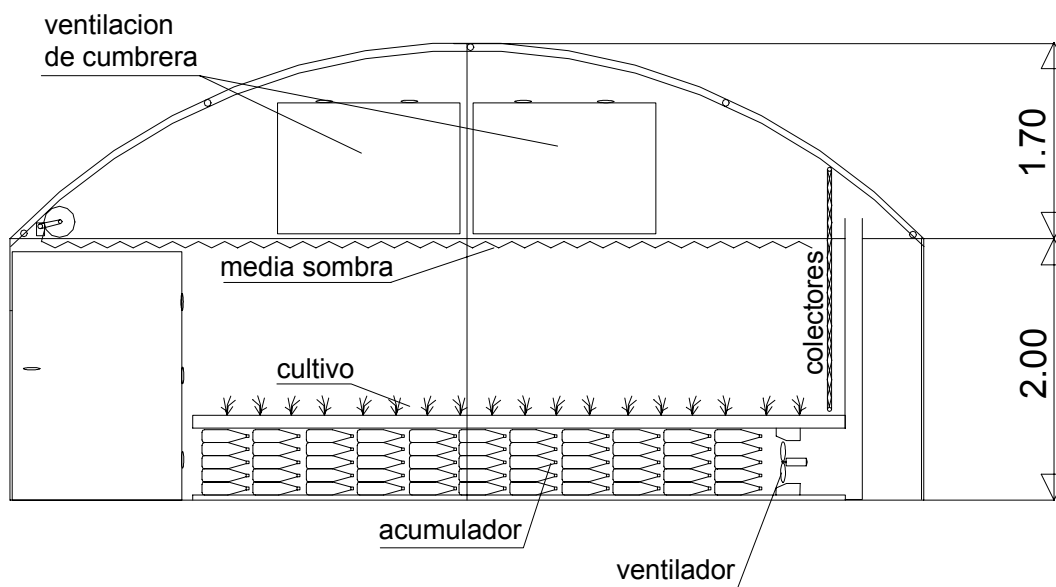


Figura 2: Corte del invernadero

En la figura 3 se muestra un acumulador en corte transversal. En el extremo de cada uno de los acumuladores, se ubica el ventilador que impulsa el aire a lo largo del relleno de botellas. Cada ventilador axial de tipo helicoidal Multi-Wing (2002) está acoplado a un motor monofásico de 150 W a 1450 R.P.M.

Las acciones de control sobre los ventiladores pueden hacerse mediante una interfase Nudam 6050 o por un control de tiempo. Para las experiencias aquí presentadas, se utilizó un temporizador.

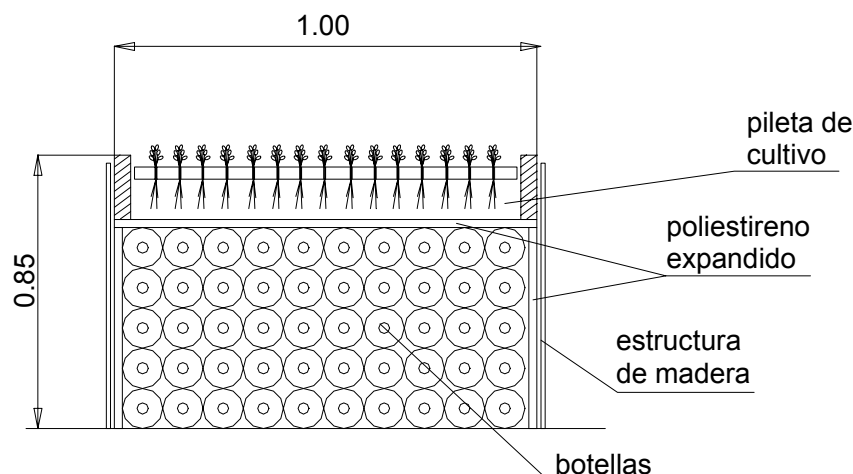


Figura 3: Corte de un conjunto acumulador-pileta de cultivo

### EXPERIENCIAS DE VERANO: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En verano se utilizó el sistema para refrescar el invernadero, durante las horas de mayor temperatura. El sistema de circulación comprende una etapa nocturna de "carga de frío", en la cual el aire del exterior ingresa al acumulador, lo enfría y luego de mezclarse en la zona de cultivo, asciende, atraviesa la malla de media sombra y sale al exterior por las aberturas superiores. Durante el día el aire circula del mismo modo, refrescando el ambiente del invernadero.

Para los ensayos que se presentan se midió el perfil de temperatura, en 7 puntos a lo largo de un acumulador, con un conjunto de termocuplas conectadas a un data logger, Nudam 6018 programado para registrar con una frecuencia de 15 minutos. Se midió también la temperatura en distintos puntos del invernadero, en el suelo y en el exterior, como así también la radiación solar en el interior y exterior del invernadero, además de la pérdida de carga y el caudal de la corriente de aire en el acumulador.

Para las medidas de radiación se emplearon dos solarímetros Licor 250, para las de velocidad de aire un anemómetro de hilo caliente TSI y para las de caída de presión, un manómetro de agua de columna inclinada a 15 °

Se realizó un ciclo de medidas durante tres días de verano, de los cuales el sistema operó el segundo y el tercer día. En las siguientes figuras se presentan los resultados obtenidos. La figura 4 muestra la evolución de temperaturas en tres puntos a lo largo de un acumulador, identificados como: entrada, centro y salida. La línea sobre el eje X representa los períodos en que los ventiladores estuvieron en funcionamiento.

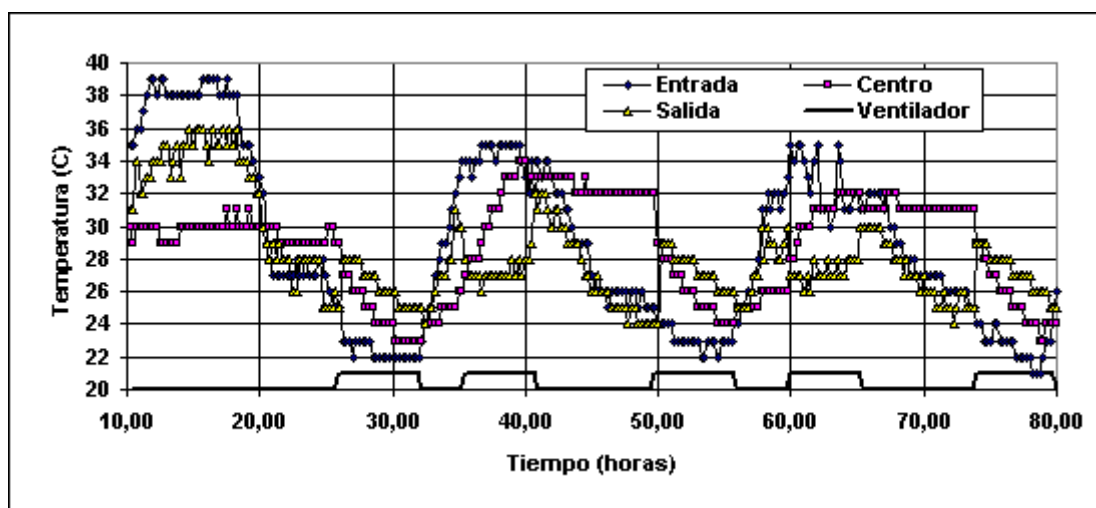


Figura 4: Evolución de temperatura en un acumulador

Se observa que el primer día, que el equipo no estuvo en funcionamiento, las temperaturas de entrada y salida del acumulador, alcanzaron valores muy altos, a pesar de que la media sombra estuvo cerrada. Durante la madrugada, desde las 4 hasta las 8 de la mañana, la circulación de aire enfría el acumulador, desde 29 C hasta 23 C medidos en el centro del relleno.

El segundo día el ventilador estuvo en funcionamiento desde las 12 hasta las 16 horas. En ese período, la temperatura del aire a la salida del acumulador, se mantuvo casi constante, entre 26 y 27 C, a pesar de que a la entrada aumentó desde 33 a 35 C. El hecho de que hacia las 16 hs, el registro de temperatura del centro del acumulador, también aumentó, da cuenta de la descarga del acumulador. Puesto que a esa hora la temperatura ambiente comienza a descender, resulta oportuno detener el sistema.

En la figura 5 se muestra la evolución de temperaturas del ambiente exterior, del aire del invernadero a 1,50 m de altura, donde se ubica el cultivo y del aire a la salida de los acumuladores. A la altura del cultivo, la temperatura descendió rápidamente al poner en marcha el sistema y siguió descendiendo mientras el ventilador estuvo en marcha, desde 37 a 30 C, a pesar del aumento de la temperatura exterior.

Durante la segunda noche los ventiladores enfriaron nuevamente los acumuladores y el tercer día se volvió a refrescar el ambiente del invernadero, en forma similar al segundo.

La temperatura de la solución hidropónica, se mantuvo entre 20 y 27 C. Por razones de claridad no se incorporaron las lecturas en el gráfico.

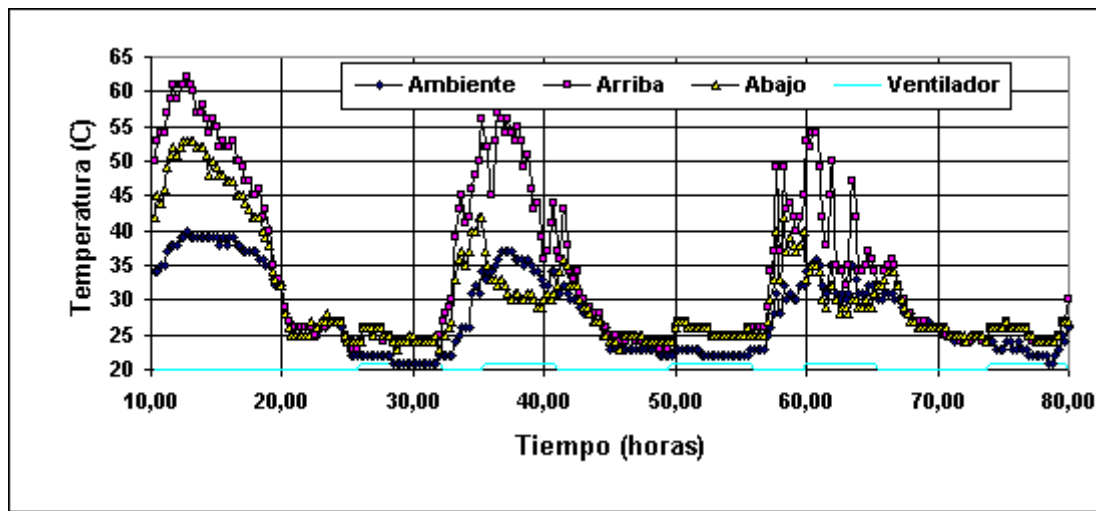


Figura 5: Evolución de temperaturas del ambiente, del invernadero y de la salida de los acumuladores

La radiación solar sobre plano horizontal en el exterior, se midió a la altura del techo del invernadero con un solarímetro conectado al sistema de medidas, tomando datos cada 15 minutos. Los datos se volcaron en la figura 6.

En el interior del invernadero, se midió cada hora a 1.50 m del suelo (por arriba del cultivo y debajo de la malla de media sombra), en 6 puntos representativos de la sexta parte del área del invernadero. El promedio de las lecturas se agregó al gráfico de la figura 6.

Durante el segundo día hubo nubosidad intermitente, pero se observa que no tuvo un efecto destacado sobre los registros de temperatura.

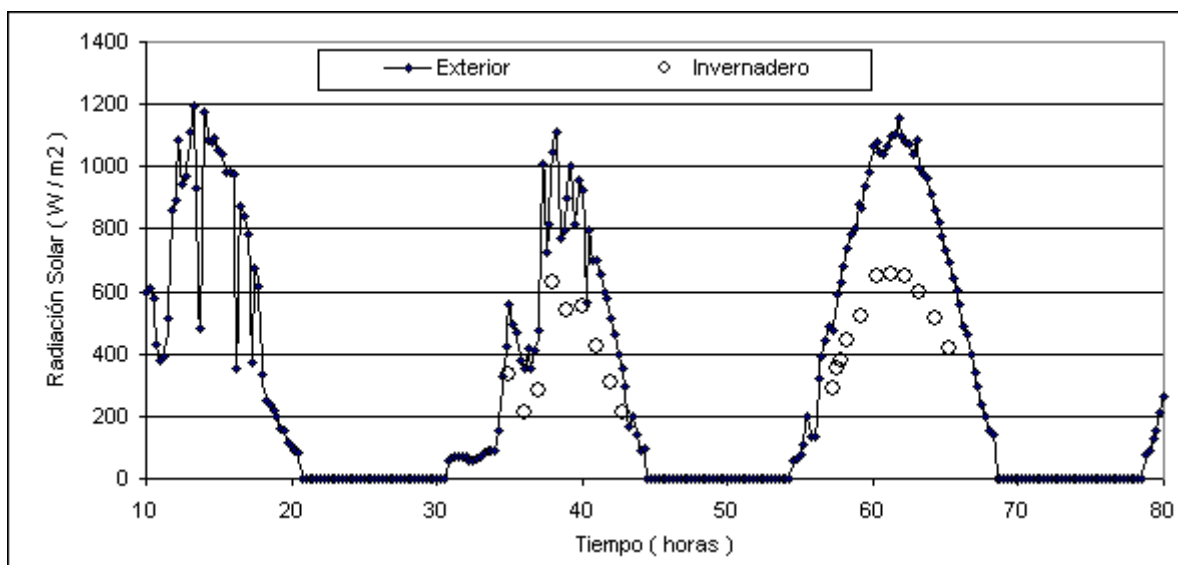


Figura 6: Radiación solar global sobre plano horizontal exterior e interior

Se midió la velocidad del aire en 10 puntos de la sección transversal del ducto de entrada, aguas abajo de un ventilador. y se obtuvo, por integración de estas lecturas, un caudal de aire de 0,45 Kg/s en cada acumulador. La caída de presión osciló entre 3 y 4 mm de agua. Estos valores, algo menores que los medidos en invierno, son coherentes con el hecho de que el motor empleado en las experiencias de verano es de menor potencia. Debe aclararse que por las condiciones experimentales, estas últimas medidas están sujetas a errores mayores que las de temperatura y radiación.

## CONSIDERACIONES AGRÍCOLAS

Paralelamente a las mediciones realizadas para ensayar el sistema se realizó un cultivo con tres variedades de lechuga, se usó una variedad de lechuga mantecosa "Justine", una de lechuga crespa Grand Rapids, Waldman's Green, y una variedad de lechuga "arrepollada" tipo Grandes Lagos.

En la lechuga el cultivo se ve limitado en los períodos de alta temperatura por que el calor provoca un fenómeno llamado "Bolting" que consiste en una floración prematura, con alargamiento del tallo principal de la planta, con lo cual pierde totalmente su aspecto arrosado y su sabor se torna amargo. El problema se presenta cuando las plantas entran en alargamiento y floración antes de alcanzar un tamaño comercialmente adecuado y una forma de lograr retrasar el "Bolting" es mediante el refrescamiento del ambiente del invernadero.

La lechuga tipo Grand Rapids, es la variedad con la que se trabajó en anteriores experiencias ( Saravia et. Al. (1997) en el cultivo hidropónico y por ello es la usada como testigo en esta ocasión, en experiencias anteriores de verano se comprobó que inicia su floración luego de los 50 días de cultivo, la lechuga tipo Grandes Lagos, es una variedad de cultivo netamente invernada, en la que los efectos de la temperatura se hacen evidentes muy rápidamente y se manifiesta a través de la formación de una "cabeza" poco compacta, de bajo peso, menor cantidad de hojas y rápido alargamiento. En el caso de las lechugas tipo mantecosas, en experiencias anteriores los resultados no fueron buenos, debido a que las plantas declinaban con el calor y muchas morían, pero esta fue la primera experiencia con la variedad "Justine".

Los resultados comparativamente con períodos de cultivo de verano anteriores fueron notablemente superiores, en el caso de la lechuga tipo Grand Rapids, el "Bolting" se retrasó 10 días en presentarse, con lo que se pudieron cosechar ejemplares de alto peso y excelente calidad. La lechuga tipo Grandes lagos, como era de esperarse fue la que resultados más pobres arrojó, debido a que aún con el invernadero climatizado presentó cabezas laxas pero el "Bolting" retrasó también su presencia hasta pasados los 55 días de cultivo, permitiendo cosechar plantas de buen peso y sabor. Fueron muy buenos los resultados obtenidos con la lechuga tipo "mantecosa", dado que fue la que más tardíamente presentó "Bolting", (70 días) dando plantas de muy buena calidad aunque menos "arrosadas" que en invierno y un sabor levemente más amargo que las otras variedades ensayadas.

## CONCLUSIONES

La experiencia demuestra que el acumulador de botellas, permite mantener el invernadero en temperaturas cercanas a los valores óptimos para los cultivos, durante las horas del día en que la temperatura ambiente asciende a valores cercanos a los máximos, "acumulando frío" durante la noche.

La operación en ciclos de carga y descarga de 4 horas, resultó cómoda y fácil de controlar, pero controlando los ventiladores en función de las medidas de temperatura, la eficiencia del sistema aumentará.

Los resultados obtenidos con los cultivos que fueron elegidos por su sensibilidad evidente a la alta temperatura, muestran que aún que el sistema funcionó solamente en los días de más alta temperatura ambiente, logró retrasar el Bolting en las variedades ensayadas, lo cual redundó en un beneficio económico dado que el período de mayor precio para la lechuga es justamente el de verano y el sistema permitió obtener mejor calidad y pesos. No obstante quedan por hacer mayores experiencias para lograr un mejor acondicionamiento climático y de variedades adecuadas.

## REFERENCIAS

- Saravia et al (2000) "Acumulador de Agua para Climatización de Invernaderos Armado con Botellas de PET" AVERMA Vol. 4 No. 1 p.p. 02.07, 2000
- Multi Wing (2002), [www.multi-wing.org](http://www.multi-wing.org)
- Saravia et al (1996) "Acondicionamiento por Vía Solar de un Sistema de Cultivo Hidropónico Bajo Invernadero : Diseño y Construcción" en: Actas de la 19 ASADES 01.29
- Saravia L. et al (1997) "Cultivo Hidropónico en Invernadero : Uso de Acumulador de Piedras y Malla Aluminizada para Control Térmico" AVERMA 1,1 p.p. 29-32
- Saravia L. et al (1997) "Cultivo Hidropónico de Lechuga en un Invernadero con Acondicionamiento Térmico Solar" AVERMA Vol 1 No. 1

**ABSTRACT.** These paper shows experimental results by summer time operation of a thermal storage as a part of a 100 m2 hydroponic greenhouse, placed at Salta, Argentina.

The experimental greenhouse contain 9 hydroponic culture ponds and solar systems to thermal conditioning solar systems of hydroponic solution, greenhouse air and control of solar radiation.

On a previous paper (Saravia,L. et al 2000), winter results and numerical simulation of a single one storage were shown. At present 9 storages actually operating in summertime operation are reported.